汉字形声字识别中义符和声符的家族效应*

王　娟[1]　马雪梅[1]　李兵兵[1]　张积家[2]
[1](江苏师范大学教育科学学院，江苏徐州 221116)
[2](中国人民大学心理学系、国家民委民族语言文化心理重点研究基地、
教育部民族教育发展中心民族心理与教育重点研究基地，北京 100872)

摘要：采用词汇判断任务和 ERP 技术，操纵义符和声符的家族大小，考察形声字识别中义符和声符的家族效应。结果发现：(1)当义符为大家族时，大家族声符字比小家族声符字诱发了更小的 P200 波幅；当义符为小家族时，大家族声符字和小家族声符字诱发的 P200 波幅差异不显著。(2)大家族声符字比小家族声符字诱发了更大的 N400 波幅，但当义符为大家族时，大、小家族声符字之间的差异比义符为小家族时更加显著。这说明，义符和声符的家族大小共同影响形声字识别，声符的家族效应受义符的家族大小调节。研究表明，在词汇识别的不同阶段，义符和声符对资源的获取处于变化状态，这取决于两者的呈现率差异。整个研究表明，在形声字识别中，义符与声符的作用存在着博弈，二者作用的此消彼长与加工阶段和家族大小有关。

关键词　声符；义符；家族大小；形声字识别

1 引言

汉字是以形声字为主的文字体系。在 7000 常用汉字中，形声字占 80%以上(李燕，康加深，1993)。形声字由义符和声符构成。声符又称为声旁，是为被构字提供语音线索的部件。义符又称为意符、形符、形旁，是与被构字有语义联系的部件。义符存在减少了汉字的字形与语义之间联系的任意性。形声字识别中义符和声符的作用机制一直是汉字心理学研究的重点。但遗憾的是，对这一问题的考察目前尚无统一的结论。义符与声符在形声字识别中的作用孰大孰小？对这一问题，目前已经形成了三种有代表性的观点：(1)声符优势论，认为声符在形声字识别中作用更重要(Hung, Hung, Tzeng, & Wu, 2014；王协顺，吴岩，赵思敏，倪超，张明，2016；张积家，王娟，印丛，2014)；(2)义符优势论，认为义符在形声字识别中作用更重要(Williams, 2012；Williams & Bever, 2010)；(3)义符家族调节论，认为义符和声符对整字加工的贡献受到义符家族大小调节(Hsiao, Shillcock, & Lavidor, 2006；Hsiao, Shillcock, & Lavidor, 2007)。

持声符优势论的学者认为，声符在形声字识别中作用更突出。Hung 等(2014)采用脑磁图技术，分别考察声符和义符在形声字识别中的作用。研究分别采用同音判断任务和同义判断任务，要求被试判断启动-目标字对是否同音或者同义。结果表明，在行为反应和脑磁成分上均发现声符共享的促进效应，但未在 MEG 成分上发现义符共享的促进效应。研究者认为，在形声字识别中，与义符比，声符激活的时间比义符早，作用更强。张积家等(2014)采用眼动追踪技术考察义符和声符在不同加工任务中的注意资源分配状况，发现在通达形声字语音、语义过程中，与义符比，声符具有注意资源优势，这种优势在语音提取任务中更明显：声符无需依赖义符的信息便可以相对独立地激活整字语音，但声符需要义符配合才能够提取整字语义。王协顺等(2016)采用词汇判断任务，以义符和声符均为独体字的形声字为材料，操纵义符和声符的频率，考察义符和声符在形声字识别中的作用。结果发现，当以反应时和错误率为指标时，声符频率在形声字识别中发挥重要作用，未发现义符频率的作用。脑电研究发现，声符频率早于义符频率发挥作用，表现为声符频率可以引发 P200 变化，义符频率

本文系江苏省自然科学基金青年项目(BK20170234；BK20181008)、国家民委民族研究重点项目“少数民族学生双语学习认知规律研究”(项目编号：2017-GMA-004)、江苏高校优势学科建设工程资助项目的成果之一。

在 P200 时间窗口上未产生作用。因此，声符的激活时间早于义符。他们认为，声符的复杂性和变异性均大于义符，在形声字识别中，读者首先加工声符，声符一旦确定，形声字识别将更加容易。在 N400 成分上，相对于义符频率，声符频率引发的 N400 效应更持久，脑区激活范围更广泛，而且义符和声符在形声字识别中起作用的起始时间和持久性不同。相对于低频义符字，高频义符字引发的 N400 平均波幅更小；相对于低频声符字，高频声符字引发的 N400 平均波幅更大。他们认为，在研究中操纵的部件频率，实则是部件作为单字时的熟悉性。在语义提取中，声符与整字语义不相关，被试需要压制往声符语义，导致高频声符引发更大的 N400；义符能够为形声字的语义提取提供一定线索，因而高频义符的语义激活更强，在语义提取阶段产生了促进效应。因此，与义符比，声符效应产生得更早，开始于形声字识别早期，而且更持久。

主张义符优势论的学者认为，义符在形声字识别中作用更重要。他们分别将形声字的义符和声符进行模糊化处理，要求进行汉字判断任务。结果发现，与声符模糊的形声字比，义符模糊的形声字更难辨认。研究者认为，形声字识别依赖于语义信息，因而义符在汉字识别中所起的作用更重要(Williams, 2012；Williams & Bever, 2010)。

Hsiao 等人认为，义符和声符对整字加工的贡献受义符家族大小调节。Hsiao 等(2006)采用重复经颅磁刺激(rTMS)技术，以左形右声结构的汉字为材料，要求被试对汉字做语义透明度判断，发现了显著的义符家族和语义透明度的促进效应。他们还发现，与对右侧枕叶皮质区应用 rTMS 相比，对左侧枕叶皮质区应用 rTMS 显著减慢了大义符家族字的反应速度，从而减弱了大义符家族的促进效应，也即对左脑的虚拟损伤影响对声符加工，进而影响对大义符家族字的语义判断；对右脑的虚拟损伤影响对义符加工，从而影响对小义符家族字的语义判断。研究者认为，当义符为小家族时，汉字左右两个部件平均地影响整字语义通达，义符在汉字语义通达中更有信息性；当义符为大家族时，由于义符构成的汉字多，整字语义通达更多地依赖声符，声符在形声字语义通达中更有信息性。当声符部件获得的关注多时，声符所获得的认知资源就多，激活程度就高，加工就更充分。Hsiao 等(2007)采用偏侧中央窝旁信号提示法，要求被试判断左形右声结构汉字的语义透明度，发现与提示右部件比，当提示左部件时，促进对小家族义符字的语义透明度判断，抑制对大家族义符字的语义透明度判断。这是因为单侧线索提示能够把注意力引导到汉字的对应侧部件，导致优先对该部件加工。如果线索对应侧部件信息量高，就将有助于汉字识别。对小家族义符字，由于共享义符的汉字少，义符的信息量大，能够有效地提示整字语义，因而促进对汉字识别；对大家族义符字，义符表征整字语义的信息性差，在决定整字语义时作用有限，右侧声符在获取整字语义上更有信息性。因此，右侧线索对识别更加有利。

综合来看，已有研究都认为义符和声符对形声字加工有影响，而且多通过语义任务和语音任务单独地考察义符效应和声符效应，进而通过比较其效应大小确定部件对形声字识别的贡献(王协顺等 2016; Hung, 2014; 张积家等，2014; Williams, 2012; Williams & Bever, 2010)。这会忽略一个重要信息，即义符和声符在发挥作用过程中相互影响，即在考察声符效应时，义符部件的特征可能对其效应的方向和大小产生影响；同样，在考察义符效应时，声符部件的特征也会对其产生影响。因而，不考虑声符的义符效应考察以及不考虑义符的声符效应考察并不能彻底解决二者在形声字识别中的作用机制。义符和声符影响形声字识别的过程很可能是一个动态博弈过程，二者在形声字识别的不同阶段可能有不同的资源需求，这取决于义符和声符的特征，比如反映部件呈现率高低的部件的家族大小以及部件的成字性等。对不同的汉字词加工阶段，义符和声符的优势作用发挥可能处于变化状态，或者是一个此消彼长的过程。因此，解决这一问题还需要新的证据。

根据 Hsiao 等(2006; 2007)的研究，部件家族大小会调节义符和声符部件在形声字加工中作用的发挥。因此，考察义符和声符对整字加工的贡献，需要将部件的家族大小考虑在内。

本研究将从义符和声符的家族效应角度探讨部件在汉字加工中的作用。正字法家族大小是汉字亚词汇部件的重要特征。结构相同而且与目标字拥有相同义符或相同声符的汉字称为目标字的正字法邻近字。在正字法邻近字中，拥有相同义符的字构成义符家族，拥有相同声符的字构成声符家族。形声字的义符和声符的构字能力存在差异：义符的构字范围在 1~99 个之间，平均构字数为 40.9；声符的构字范围在 1~23 个之间，平均构字数为 12.5(李燕等，1993)。由部件构字能力引起的汉字识别差异被称为汉字的正字法家族效应。本研究的一个重要目的即通过操纵构字部件的家族大小来考察义符和声符在形声字识别中的作用。

在义符影响形声字语义加工的调节模型中，在形声字的部件层上存在调节机制，负责分配资源给不同加工路径，而且义符的上行激活路径和声符上行激活路径在资源获取上存在竞争(王娟，张积家，2016)。根据这一假设，义符家族越大，就越依赖于声符实现早期的词形通达，表现出声符的家族效应，声符在形声字识别中贡献更大；义符家族越小，将更容易依赖义符实现词形通达，声符的家族效应将会受抑制；在语义通达阶段，无论义符的家族大小如何，声符在语义通达中将会表现出更大优势。如此，在形声字识别中，如果义符和声符在加工的不同阶段存在不同的作用机制，而且二者之间存在博弈，义符和声符的家族效应将在 P200 和 N400 上表现出不同模式。因此，本研究将操纵构成形声字的义符和声符的家族大小，采用 4 种类型的汉字：大家族义符、大家族声符字，大家族义符、小家族声符字，小家族义符、大家族声符字，小家族义符、小家族声符字，来考察义符和声符在形声字加工中的作用机制。研究采用真假字判断任务，关注 P200 和 N400 两个脑电成分。已有对正字法家族效应的考察均在这两个成分上发现显著的家族效应(Barber, Vergara & Carreiras, 2004；王协顺等，2016)。P200 成分反映词汇加工早期词形信息激活的情况(Liu, Perfetti & Hart, 2003；Chen, Liu, Wang, Peng, & Perfetti, 2007)，也有研究指出，P200 是一种与词汇家族大小效应相关的脑电成分(Lee, Tsai, Chan, Hsu, Hung, & Tzeng, 2007; Hsu, Tsai, Lee, & Tzeng, 2009; Carrasco-Ortiz, Midgley, Grainger, & Holcomb, 2017)。N400 成分则与语义加工有关(Hsu et al., 2009; Lee et al., 2007; Taler & Phillips, 2007)。针对这两个时间窗口下不同家族大小的义符和声符的形声字所诱发的平均波幅进行分析，以探测其在词汇识别中对认知资源的博弈状况，为探讨部件影响形声字加工提供进一步的证据。

综合来看，对部件在形声字识别中的作用已经产生一些结论，但多数研究在同一实验中仅关注了汉字的“一半”，或者单独地考察声符在形声字加工中的作用，或者单独地考察义符的作用(Zhang, Zhang & Kong, 2009; Zhou & Marslen-Wilson, 1999；张积家，章玉祉，2016；章玉祉，张积家，2017；王娟，张积家，2016)，而且未形成统一的结论，也未统一解释义符与声符影响形声字加工的机制。本研究采用在同一汉字中同时操纵义符和声符家族大小的研究范式，突破当前研究往往只关注汉字“一半”的困境，旨在通过考察义符和声符部件的家族效应，探讨义符和声符在形声字识别中的作用，以解释在不同加工时段义符和声符的资源竞争及相互关系，为亚词汇信息的表征与加工机制提供理论依据。

2 方法

2.1 被试

招募在校本科生 22 名，男生 9 名，女生 13 名，年龄范围为 19~24 岁，平均年龄为 21.55 岁。被试均为右利手，视力或矫正视力正常。母语均为汉语，能够讲标准的普通话。在每一条件下，22 名被试的样本量是合适的，因为在前人的汉字部件加工的研究中(王协顺等，2016)，其所预期的效应均被检测到。此外，运用 GPower 软件进行功效分析表明，本实验的功效能较好地探测到其预期效应[power=0.99]。

2.2 设计

2(义符家族大小：大/小)×2(声符家族大小：大/小)两因素被试内设计。

2.3 材料

包括目标材料和填充材料。目标材料为 240 个左右结构形声字，有 4 种类型：大家族义符、大家族声符字(简写作 HH)，大家族义符、小家族声符字(简写作 HL)，小家族义符、大家族声符字(简写作 LH)，小家族义符、小家族声符(简写作 LL)字。每种类型汉字有 60 个。在统计《现代汉语常用字表》7500 常用字基础上划分义符的家族大小：大家族义符的构字数≥101，包括氵、口、木、扌、钅、亻、月、土、虫、讠、纟、忄、女、石、王、日等；小家族义符的构字数≤72，包括又、田、戈、彳、礻、巾、米、页、饣、马、车、贝、衤、阝(左)、禾、刂、阝(右)、犭、冫耳、舟、子、立、殳、欠等。在统计《汉字声旁读音便查》(周有光，1980)基础上划分声符的家族大小：大家族声符的构字数>10，如各、古、交、乍、包、卑、干、戈、可、台、羊、斤、曷、方、由、它、皮、圭、丁等；小家族声符的构字数<5，如另、肯、觉、朵、库、户、史、君、岁、冒、兄、节、曲、乎、匀、勾、兰、巾等。字频参考《社会科学自然科学综合汉字频度表》，选用中频字，平均字频为 0.002845。4 组字的字频差异不显著，$F(3, 177)=1.47$，$p>0.05$；笔画数差异不显著，$F(3, 177)=2.21$，$p>0.05$。材料信息见表 1。

表 1 真字材料举例及特征信息

汉字类型	材料举例	平均字频	平均笔画数
HH	扛，吵，泡	0.002443(0.0026)	9.72(1.79)
HL	捏，吼，泻	0.001551(0.0011)	9.60(2.00)
LH	衬，陪，狗	0.004279(0.0099)	9.47(2.39)
LL	裤，随，猿	0.003109(0.0055)	9.57(2.27)

注：括号内数据为标准差，字频为每百万字出现的频率。

填充材料为 Windows 2007 中专用字符编辑程序制作 4 种部件错误结合的假字，假字由形声字部件拆开后重新组合而成，符合义符与声符在家族大小上的组合要求(HH，HL，LH，LL)。这些假字符合汉字的正字法，共有 240 个，每组 60 个。笔画数为 6 到 14 画，声符可发音，假字材料举例见表 2。

表 2 假字材料举例及特征信息

假字类型	材料举例	平均笔画数
HH	泎 汸 泿	9.15(1.75)
HL	[illegible] [illegible] 滞	9.08(1.86)
LH	[illegible] [illegible] [illegible]	9.00(1.57)
LL	[illegible] 粀 [illegible]	9.23(1.94)

2.4 仪器和程序

采用 E-Prime 编程。通过台式计算机灰底黑字呈现材料，字号为 48 号，字体为宋体。程序如下：首先，在屏幕中央呈现注视点“+”500ms，然后呈现目标刺激 800ms，接着空屏 300ms，再呈现 4s 的“？？？”，被试做出判断反应，如果被试在 4s 内未反应，此界面自动消失。最后呈现 300~1500ms 随机空屏，被试可以眨眼放松，准备进入下一次试验。要求被试作词汇判断，如果判断刺激是真字，就按 J 键，如果判断刺激是假字，就按 F 键。具体按键方式在被试间平衡。流程见图 1。正式实验分为 6 组，中间有休息。每组包含 80 次试验，真假字各半。区组顺序和区组内试验顺序随机安排。程序自动记录被试的反应时和反应正误，计时单位为 ms，误差为±1ms。实验前有练习阶段，使被试熟悉实验程序。

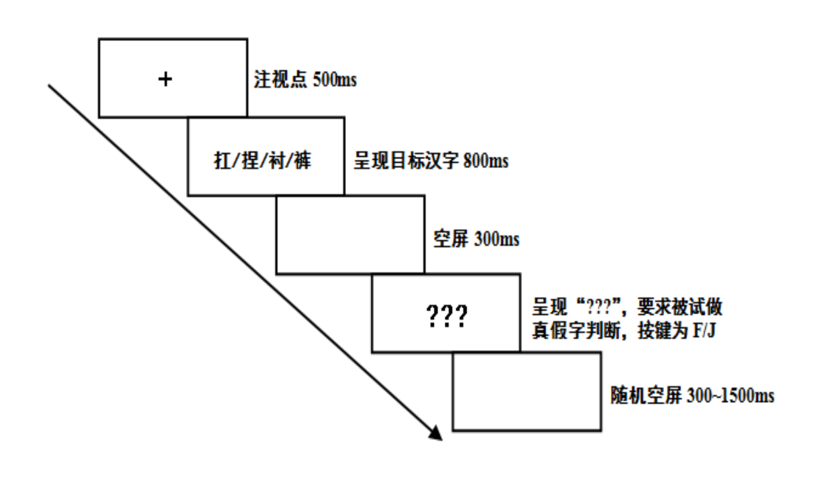


图 1　实验流程图

2.5 脑电记录

使用德国 Brain products 公司生产的 32 导脑电记录分析系统，选用 BrainAmp MR plus 型号放大器和 32 导 actiCAP 电极帽，采用国际 10~20 标准系统的导联方法。以左侧乳突为参考电极，同时记录水平眼电和垂直眼电。水平眼电的两个电极分别放置于双眼外眼角处，垂直眼电放置于左眼的上眼眶上侧和下眼眶下侧。每一电极处头皮电阻保持在 5KΩ 以下(眼电记录电极电阻小于 10KΩ)。滤波带通为 0.01~100HZ，采样率为 1000HZ/导。离线分析时，参考电极转为双侧乳突平均参考，进行 0.01~30HZ 带通滤波，半自动删除眼电、肌电等伪迹。分析时程为目标刺激前 200ms 到呈现后 600ms。目标刺激前 200ms 作为基线。最后，对波幅在 ±100 μv 之内正确反应刺激进行叠加分析。

2.6 数据分析与统计

为了避免行为按键反应对 ERP 信号产生干扰，实验采用延迟反应，故未统计反应时，只统计正确率。

根据已有研究(Carrasco-Ortiz，Midgley，Grainger，& Holcomb，2017)和得到的总平均波形图，考察目标刺激呈现后的两个时间窗口：180~300ms(P200)和 300~500ms(N400)，分别计算每个时间窗的平均波幅。考察左右半球(左半球、中线、右半球)和前后部位(前脑区、中脑区、后脑区)两个因素，共分析 9 个电极点，分别代表 9 个脑区。左半球包括 F3、C3、P3，分别代表左前、左中、左后脑区；中线包括 FZ、CZ、PZ，分别代表中前、中部、中后脑区；右半球包括 F4、C4、P4，分别代表右前、右中和右后三个脑区。其中，F3、FZ、F4 属于前部，P3、PZ、P4 属于后部。对两个时间窗口的原始总平均数据进行 2(义符家族大小：大/小)×2(声符家族大小：大/小)×3(左右半球：左/中/右)×3(前后部位：前/中/后)的重复测量方差分析。

3 结果与分析

3.1 判断的正确率

HH、HL、LH、LL 汉字的平均正确判断率分别为 94.86%、95.46%、93.82%、95.35%。方差分析表明，四种类型汉字的正确判断率差异不显著，$F(3，87)=0.49$，$p>0.05$。

3.2 ERP 结果

HH、HL、LH、LL4 类汉字的脑电波形图见图 2。

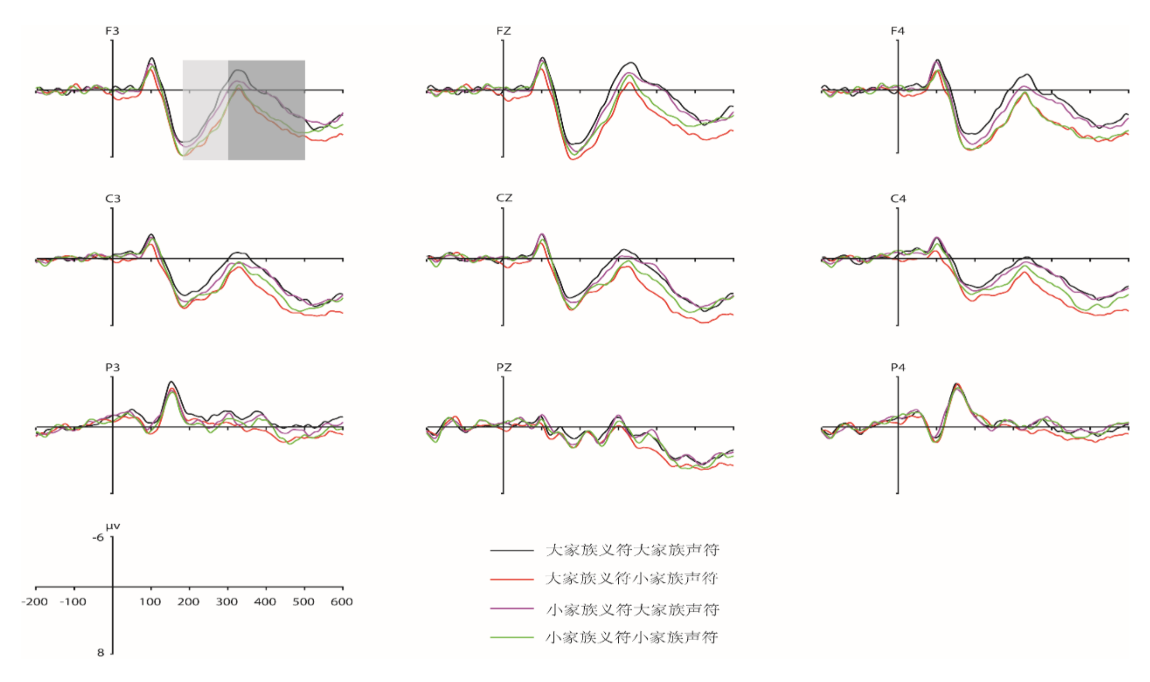


图 2 HH、HL、LH、LL 4 类汉字的平均波幅图

3.2.1 180~300ms 时间窗口(P200)

重复测量的方差分析表明，声符家族大小的主效应显著，$F(1, 21)=8.71$，$p=0.008$，$\eta_p^2=0.29$。相对于小家族声符字，大家族声符字诱发了更小的 P200 波幅。义符家族大小和声符家族大小的交互作用边缘显著，$F(1, 21)=3.50$，$p=0.075$，$\eta_p^2=0.14$，95%CI=[-1.27，-0.22]。义符家族大小、声符家族大小和左右半球的交互作用显著，$F(2, 42)=4.25$，$p=0.021$，$\eta_p^2=0.17$。简单简单效应分析发现，在大家族义符水平上，声符家族大小的主效应在左半球($p=0.003$，95%CI=[-1.81，-0.44])、中线($p<0.001$，95%CI=[-1.98，-0.66])和右半球($p=0.025$，95%CI=[-1.54，-0.12]]均显著，大家族声符字在大脑左半球、中线和右半球上比小家族声符字诱发的 P200 波幅更小；在小家族义符水平上，两种声符字在大脑左半球、中线和右半球上诱发的 P200 平均波幅差异不显著，$ps>0.05$。义符家族大小、声符家族大小和大脑前后部位的交互作用显著，$F(2, 42)=3.95$，$p=0.027$，$\eta_p^2=0.16$。简单简单效应分析发现，在大家族义符水平上，声符家族的主效应在前脑区($p<0.001$，95%CI=[-2.50，-1.01])和中脑区($p=0.001$，95%CI=[-1.93，-0.61])显著，说明在前脑区和中脑区，大家族声符字比小家族声符字诱发更小的 P200 波幅；在小家族义符水平上，两种声符字在大脑前后部位诱发的平均波幅无显著差异，$ps>0.05$。义符家族大小、左右半球和前后部位的交互作用显著，$F(4, 84) = 4.51$，$p=0.002$，$\eta_p^2=0.18$。简单简单效应分析发现，在右前脑区，义符家族大小的主效应仅边缘显著，$F(1, 21)=3.05$，$p=0.095$，95%CI=[-0.775，0.068]，在其他脑区均未发现义符家族大小的效应。声符家族大小、左右半球和前后部位的交互作用显著，$F(4, 84)=3.54$，$p=0.01$，$\eta_p^2=0.14$。简单简单效应分析发现，声符家族大小的主效应在 F3($p=0.002$，95%CI=[-1.681，-0.446])、C3($p=0.004$，95%CI=[-1.264，-0.266])、P3($p=0.077$，95%CI=[-0.923，0.052])、FZ($p<0.001$，95%CI=[-1.83，-0.654])、CZ($p=0.014$，95%CI=[-1.515，-0.189])、F4($p=0.001$，95%CI=[-1.862，-0.610])、C4($p=0.005$，95%CI=[-1.526，-0.305])电极点上显著，说明除了 P3 和 P4 电极点外，大家族声符字比小家族声符字诱发的 P200 波幅更小。其他的主效应与交互作用均不显著，$ps>0.05$。P200 成分不同电极点的平均波幅图如图 3 所示。

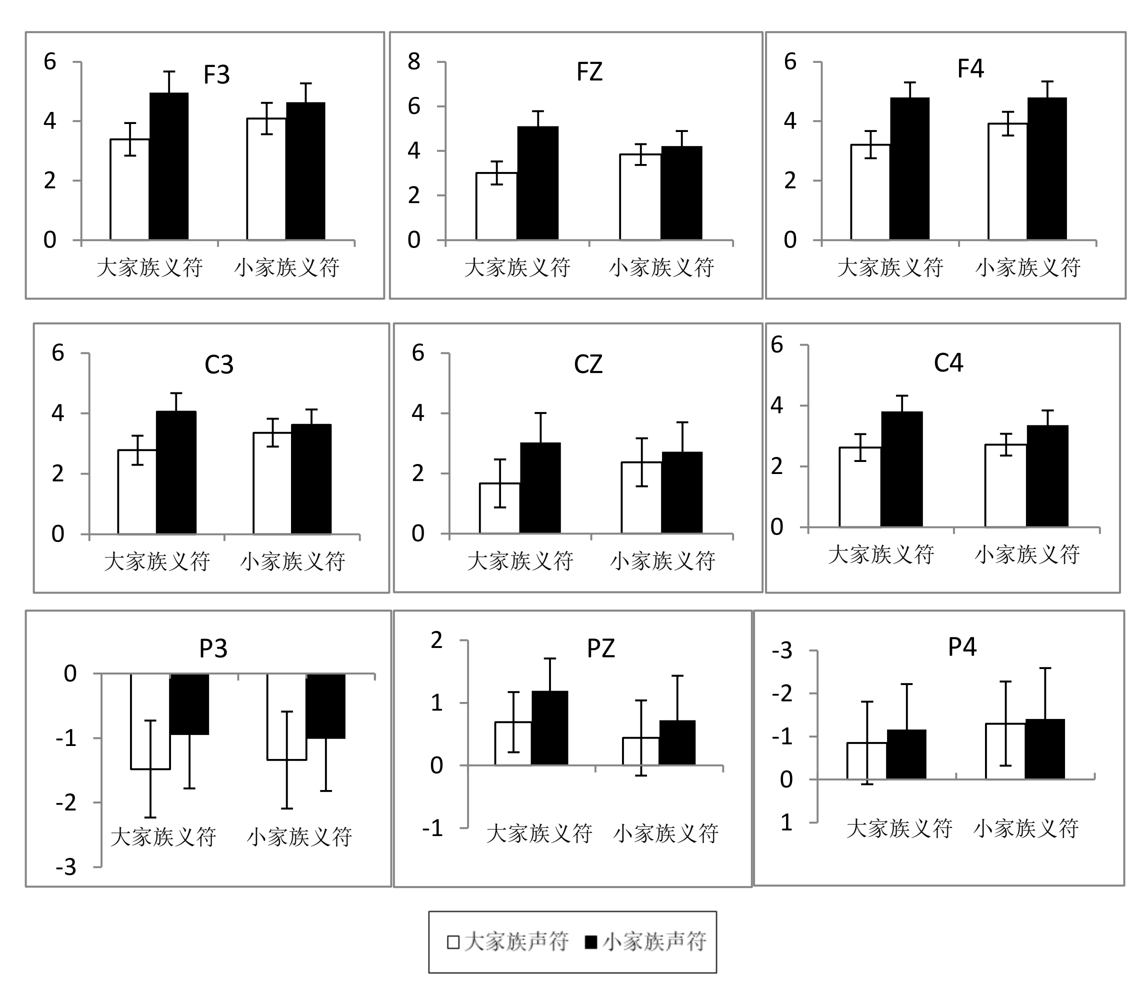


图 3 P200 成分各电极点平均波幅

3.2.2 300 ~500ms 时间窗口(N400)

重复测量的方差分析表明，声符家族大小的主效应显著，$F(1，21)=23.63$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.53$，95%CI=[-1.977，-0.792]。大家族声符字比小家族声符字诱发的 N400 波幅更大。义符家族大小和前后部位交互作用显著，$F(2，42)=4.85$，$p<0.05$，$\eta_p^2=0.19$。简单效应分析发现，义符家族大小的主效应在后脑区边缘显著，$p=0.09$，95%CI=[-0.081，0.957]，在其他区域不显著。声符家族大小和前后部位的交互作用显著，$F(2，42)=34.54$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.62$。简单效应分析发现，声符家族大小的主效应在前脑区($p<0.001$，95%CI=[-2.521，-1.250])、中脑区($p<0.001$，95%CI=[-2.069，-0.838])和后脑区($p<0.01$，95%CI=[-1.40，-0.229])显著，在前、中、后脑区，大家族声符字比小家族声符字诱发更大的 N400 波幅，而且从前脑区到后脑区，大、小家族声符字诱发的 N400 波幅依次降低。义符家族大小、声符家族大小和左右半球交互作用显著，$F(2，42)=4.27$，$p=0.02$，$\eta_p^2=0.17$。简单简单效应分析发现，在大家族义符水平上，声符家族大小的主效应在左半球($p<0.001$，95%CI=[-2.454，-1.091)、中线($p<0.001$，95%CI=[-2.568，-1.385)、右半球($p<0.001$，95%CI=[-2.048，-0.673]显著，说明在大脑左右半球，大家族声符字比小家族声符字诱发更大的 N400 波幅；在小家族义符水平上，声符家族大小的主效应在左半球($p=0.032$，95%CI=[-1.704，-0.085)、中线($p=0.023$，95%CI=[-2.019，-0.165)、右半球($p=0.009$，95%CI=[-2.082，-0.338]显著，说明大家族声符字比小家族声符字引起的 N400 波幅更大，但大家族义符水平下两种声符字的平均波幅差异比小家族义符水平更加显著。义符家族大小、左右半球和前后部位交互作用显著，$F(4，84)=3.00$，$p=0.023$，$\eta_p^2=0.13$。简单简单效应分析发现，义符家族大小的主效应在 P4 电极点($p=0.053$，95%CI=[-0.008，1.094)上显著，说明在右后脑区，大家族义符字比小家族义符字

诱发更大的 N400 成分。其他的主效应与交互作用均不显著，*ps*>0.05。N400 成分不同电极点的平均波幅图如图 4 所示。

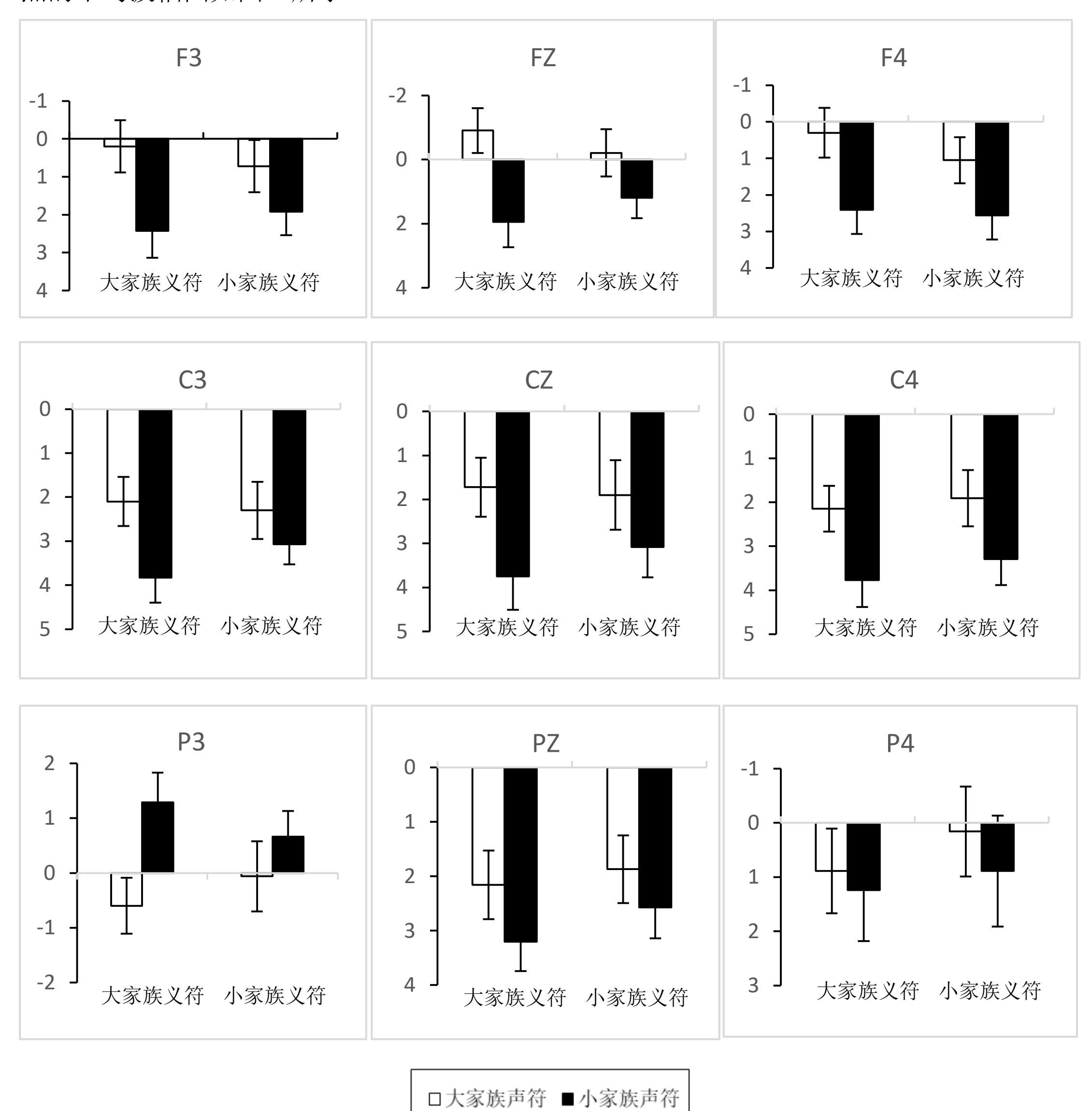


图 4 N400 成分各电极点平均波幅

3.3 不同义符家族水平下大、小声符家族字的脑电差异

图 5 为大家族义符水平上大、小家族声符字的平均脑电波幅图，从中可以直观地观察到，当义符为大家族时，声符大家族字与声符小家族字之间的加工差异。

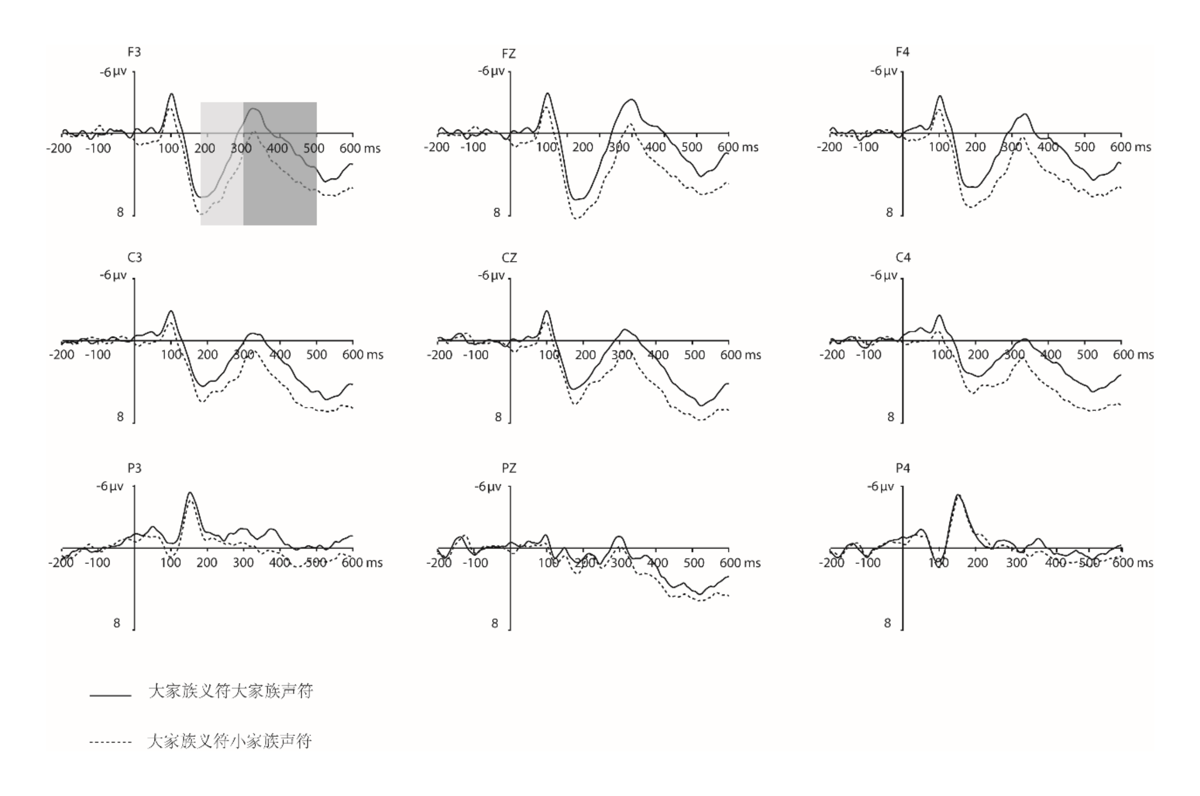


图 5 大家族义符水平上大家族声符字与小家族声符字的平均波幅图

图 6 为小家族义符水平上大、小家族声符字的平均脑电波幅图，从中可以直观地观察到，当义符为小家族时，声符大家族字和声符小家族字之间的加工差异。

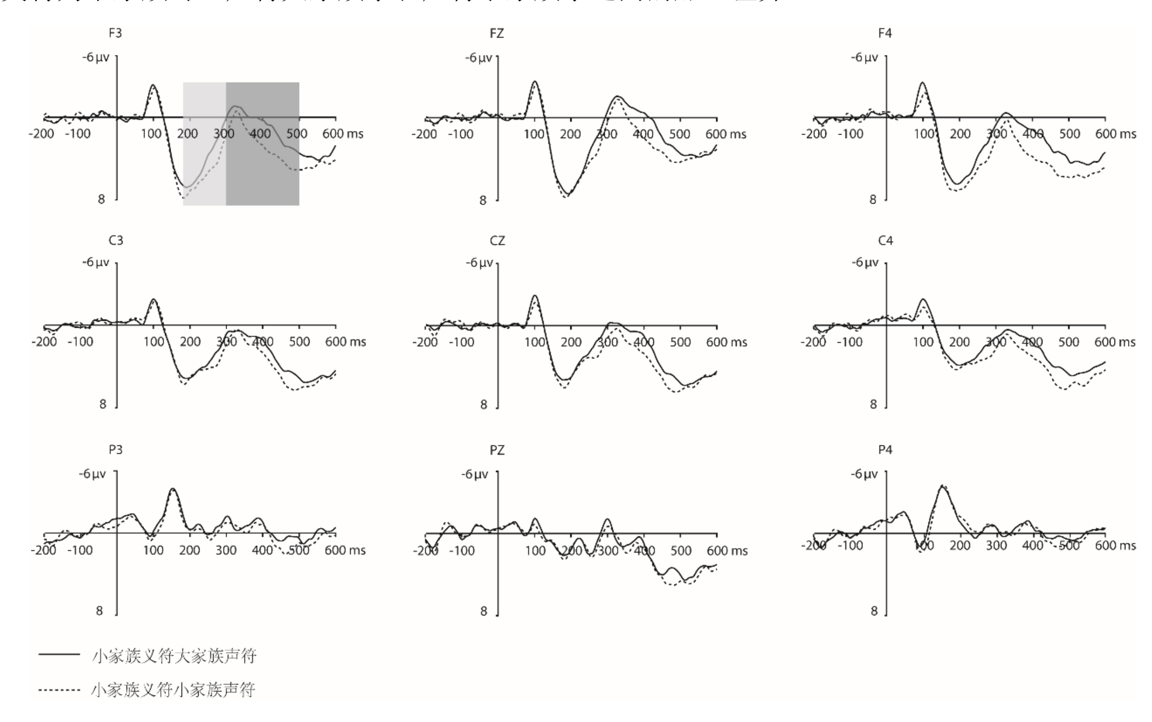


图 6 小家族义符水平上大家族声符字与小家族声符字的平均波幅图

图 7 为大、小家族义符水平上大、小家族声符字的差异波地形图，从中可以直观地比较大家族义符水平上大、小家族声符字之间的差异与小家族义符水平上大、小家族声符字之间的差异的大小。由图 7 可知，P200 的头皮分布主要集中在前部区域，这与前人的研究结果较为一致(Lee et al., 2007；Hsu, et al., 2009)。N400 的头皮分布也主要表现在前部，这可能与

本研究采用的材料有一定关系。N400 的头皮分布较广泛，典型的 N400 的头皮分布主要集中在中后部区域，但其头皮分布位置也会受到材料、任务等影响。有研究发现，抽象词汇诱发的 N400 头皮分布集中在中后部区域，但具体词汇和图片诱发的 N400 头皮分布更靠前 (Ganise, Kutas, & Sereno, 1996; Kounios & Holcomb, 1994)。也有研究表明，N400 头皮分布在前部时多与材料的熟悉性有关，头皮分布在后部时多与语义启动有关(Voss & Federmeier, 2010)。本研究中 N400 成分分布较为靠前，可能与部件的呈现率也即家族大小有一定关系，但这一推断尚需后续研究验证。

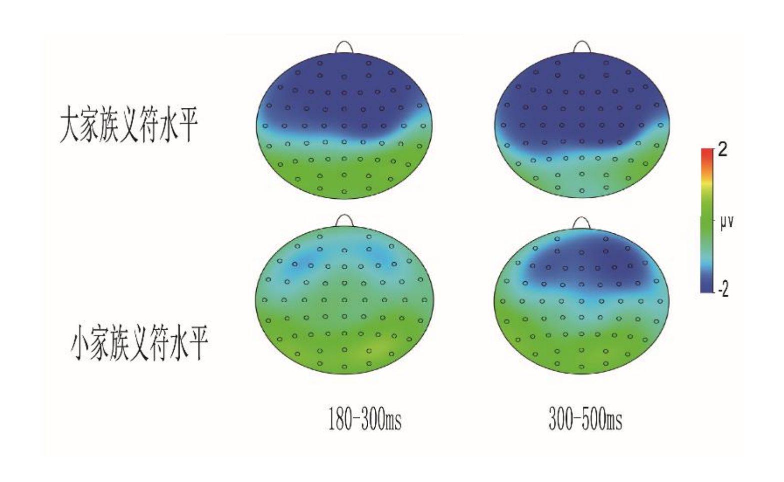


图 7 大、小家族义符水平上大、小家族声符字的差异波(大家族声符－小家族声符)在 180~300ms 和 300~500ms 时间窗口的脑电地形图

4 讨论

本研究探讨了义符和声符的家族大小在形声字识别中的作用。结果表明，在大家族义符水平上，大家族声符字比小家族声符字诱发了更小的 P200 波幅；在小家族义符水平上，大、小家族声符字诱发的 P200 波幅无显著差异。这说明，在形声字加工早期，声符的家族效应受义符的家族大小调节。研究还发现，大家族声符字比小家族声符字诱发了更大的 N400 波幅，但在大家族义符水平上，声符家族大小引起的 N400 波幅差异比在小家族义符水平上更显著。这说明，在加工晚期，声符家族越大，汉字的语义激活越强。总的来看，声符的家族大小稳定地影响着形声字的词汇通达，但声符家族大小效应受义符家族大小调节。

4.1 关于形声字识别中义符和声符的家族效应

本研究发现，在形声字识别中，均发现了义符及声符的家族效应，而且，二者的家族效应在加工阶段上呈现出差异。在 P200 成分上，比起 HL 字，HH 字诱发的 P200 成分更小，但 LH 字和 LL 字却未表现出 P200 成分的差异；在 N400 成分上，大家族声符字诱发了更大的 N400 成分，但 HH 字与 HL 字间的差异大于 LH 字与 LL 字间的差异。部件的家族大小表征部件的呈现率，而部件呈现率在加工早期决定了资源分配。本研究发现，义符或者声符的家族大小并不能够独立地影响形声字加工，其对形声字加工的影响是相互作用的过程。即，当义符呈现率高时，其自动激活程度更强，为了快速有效地识别汉字，更多的认知资源将分配至声符，对汉字识别将取决于声符。因此，与 HL 字比，HH 字就获得了更多激活；当义符呈现率低时，对汉字识别更多地取决于义符，声符的家族大小将不起决定性作用。N400 结果表明，在形声字词汇通达晚期，声符的家族大小稳定地影响形声字的词汇通达，表明声符发挥更重要的作用。无论义符的呈现率如何，声符家族越大，语义激活就越强，后期选择就更困难，因此声符家族表现出抑制效应，声符家族越大，就诱发出更负的 N400。虽然如此，义符的家族大小也影响着声符家族效应的显现。由此可见，究竟是义符还是声符在形声

字识别中作用更大，这一问题需要结合部件的家族大小以及加工阶段进行分析。

本研究结果与张积家等(2014)的研究结果存在差异。他们发现，在通达形声字的语音、语义过程中，与义符比，声符具有注意资源优势，这种优势在语音提取任务中更明显，但他们并未操纵义符和声符的家族大小。本研究发现，注意资源优势获取还取决于加工阶段与义符的家族大小：在加工早期，当义符为大家族时，关注义符并不有利于对整字的快速识别，将注意资源转向声符是最合适的、最经济的加工策略，因而产生声符家族大小字的加工差异；当义符为小家族时，注意资源将关注于义符加工，声符家族大小将无影响。在加工晚期，声符部件获得更多关注，声符的家族大小将稳定地影响着形声字的词汇通达，但义符家族大小仍然能够发挥一定的调节作用。

4.2 义符家族效应和声符家族效应在词汇通达中的博弈

本研究发现，在形声字识别中，义符和声符的家族属性(大小)都得到激活，而且二者之间存在着竞争关系。从认知资源的角度考虑，义符和声符在形声字识别中的资源获取表现出此消彼长的特点，即当义符部件的词形激活需要的资源较少时，声符部件被分配到较多的资源。同样是声符部件，相比起大家族声符字，小家族声符字的识别将占用更多的资源；而当义符的词形激活需要资源较多时，声符部件获得的资源就相对少，此时，无论声符的家族大小，其对形声字识别的贡献均相对较低。在语义加工阶段，同样表现出义符与声符在资源获取上的此消彼长，但由于语义通达的精确性，声符部件在整字语义识别中的作用将得以凸显，声符部件所占用的认知资源均占据绝对优势，只是当义符为大家族时，其所占用的资源相对更少，因而使得声符的家族效应更加显著。

总体而言，声符的家族大小稳定地影响着形声字的词汇通达。但是，无论是在加工早期还是在加工晚期，声符的家族大小效应均受义符的家族大小调节，只是调节程度存在着差异。在词汇识别早期，当义符为大家族时，声符在形声字识别中处于优势地位，声符获得的激活更多；当义符为小家族时，义符将获得更多的关注，声符的家族大小效应会受到抑制。但是，到了词汇识别晚期，声符又具有加工优势。总之，无论义符为大家族还是小家族，要实现形声字的识别，声符部件起着至关重要的作用。本研究结果与Hsiao(2006, 2007)的结果存在一致之处，对大家族义符字，因为家族成员多，义符在识别汉字时的信息性弱，借助于义符推测整字的语义将更加困难，因此，整字识别将更多地依赖于声符。对小家族义符字，因为共享义符的汉字少，因而能够较快地获取义符的语义。但是，无论如何，整字的语义通达均需要依赖声符信息。无论是在识别的早期还是在晚期，声符在整字通达中均具有更强的信息性。

因此，本研究结果支持以往形声字加工研究对声符作用的肯定(Hung et al.，2014；王协顺等，2016；张积家等，2014)。然而，本研究还发现，在形声字识别中，义符加工与声符加工之间存在着竞争：当义符为大家族时，无论是在词汇加工的早期还是在晚期，声符均获得了更多的关注，声符的家族大小均稳定地影响形声字识别；但当义符为小家族时，在词汇加工早期，义符获得了更多的关注，但在词汇加工晚期，声符的家族属性更具有加工优势，声符的家族大小效应得到了凸显。

4.3 义符和声符的家族大小在形声字加工中的动态相互作用

本研究表明，义符和声符的家族大小共同影响着形声字的识别。在形声字识别中，义符和声符的家族属性对形声字的识别具有确定的影响，而且声符的家族效应受义符的家族大小调节。结合义符在汉字形声字词汇通达中的作用模型(陈新葵，张积家，2012)和义符影响形声字语义加工的调节模型(王娟等，2016)，义符和声符的家族大小在形声字加工中存在着动态的相互作用。根据模型，词汇通达包括笔画、部件、合体字三个层次。义符与声符的联合作用，共同实现着形声字的词汇通达。在形声字的部件层，存在着调节机制，负责将认知资源分配给不同的加工路径：(1)义符获得的用于上行激活合体字的资源；(2)声符获得的用于上行激活合体字的资源；(3)义符获得的直接通达概念层的资源。在词汇网络内，义符和声

符的上行激活资源合力实现整字的通达，然后激活进入概念网络，激活概念节点，最终通达整字的语义。阅读者长期的语言经验促使调节机制得以形成，其中一个非常重要的因素即部件的呈现率，即义符和声符的家族大小。义符和声符的家族大小影响着资源分配。

根据认知资源理论，形声字的加工需要一定认知资源，而且人的认知资源是有限的。加工某一部件所需的资源越多，加工其他部件能够利用的资源就越少。对汉字部件，其呈现率越高，所获得的自动激活就越强，所占用的认知资源就越少，更多的认知资源将用于其他信息的加工。义符和声符的家族大小影响部件层调节机制的资源分配，表现为形声字加工中义符和声符的资源竞争。义符的家族大小反映义符的构字率，调节着声符家族属性的激活程度。义符的家族越大，义符的呈现率就越高，在形声字词汇通达中的信息性就越弱。为了快速准确地识别整字，无论是在词汇识别早期还是在词汇识别晚期，调节机制均倾向于将资源分配给声符，从而利用声符的区别功能实现整字的词汇通达。声符也具有呈现率的差异。在词汇识别早期，声符的家族越大，呈现率越高，获得自动激活的程度就越强，因而表现出声符家族的促进效应；但在词汇识别晚期，阅读者需要从众多激活的家族成员字中选出目标汉字，因而家族成员越多，词汇识别中的竞争和抑制就越激烈，使得目标字很难胜出，选择难度就会增加，此时就表现为声符家族的抑制效应。义符的家族越小，义符与家族成员的语义对应关系就越明确。在词汇识别早期，资源分配倾向于小家族义符，阅读者试图通过对义符的关注快速地实现词汇通达，声符就获得了较少的资源。在词汇识别晚期，调节机制将加大对声符的资源分配，以帮助快速完成形声字的识别。声符的家族越大，家族成员字所获得的激活就越多，竞争就越强，导致反应变慢，出现了声符的家族抑制效应。反之，随着声符的家族变小，成员词之间的竞争也小，声符家族的抑制效应就降低了。

总之，义符和声符的家族大小共同影响着形声字的识别。而且，在词汇识别的不同阶段，义符和声符对资源的获取处于变化状态，这取决于两者的呈现率差异。本研究仍然存在着一些问题尚未解决，比如，部件的成字性以及部件频率是否影响义符和声符在形声字识别中作用的发挥，部件的成字性、部件频率与部件家族大小如何对形声字的加工产生影响，这些问题还需要后续研究解决。此外，本研究基于前人模型对义符和声符在形声字词汇通达中的表征和加工进行解释，反映义符和声符在资源竞争上的动态变化，具有一定创新性，但还需要更多的研究验证。

本研究的结果对汉字教学具有一定启示。未来的汉字教学可以考虑依据部首集中识字。根据本研究的结果，可以对按偏旁部首集中识字做进一步的区分，区分为按义符集中识字与按声符集中识字，前者有助于培养学生的义符家族意识，后者有助于培养学生的声符家族意识。不仅如此，应该在汉字学习中将这两种识字方式结合起来并对不同类型汉字的学习有不同侧重，对大义符家族汉字，教学中应该在声符分化上下功夫，对小义符家族汉字，应该重视义符在汉字学习中的作用。

5 结论

(1)当义符为大家族时，大家族声符字比小家族声符字诱发了更小的 P200 波幅；当义符为小家族时，大、小家族声符字诱发的 P200 波幅差异不显著。

(2)大家族声符字比小家族声符字诱发了更大的 N400 波幅，当义符为大家族时，大、小家族声符字之间差异更加显著。

(3)在形声字识别中，义符与声符的作用存在着博弈，二者作用的此消彼长与加工阶段和家族大小有关。

参考文献

[1] Barber, H., Vergara, M., & Carreiras, M. Syllable–frequency effects in visual word recognition: Evidence from ERPs [J]. *Neuroreport*, 2004, 15(3): 545−548.

[2] Carrasco-Ortiz, H., Midgley, K. J., Grainger, J., & Holcomb, P. J. Interactions in the neighborhood: Effects of orthographic and phonological neighbors on N400 amplitude [J]. *Journal of Neurolinguistics*, 2017, 41: 1-10.

[3] Chen, B. G., Liu, Y., Wang, L. X., Peng, D. L., & Perfetti, C. A. The timing of graphic, phonological and semantic activation of high and low frequency Chinese character: An ERP study [J]. *Progress in Nature Science*, 2007, 17(13): 62–70.

[4] 陈新葵, 张积家. 义符熟悉性对低频形声字词汇通达的影响 [J]. *心理学报*, 2012, 44(7): 882–895.

[5] Ganis, G., Kutas, M., & Sereno, M. The search for common sense: An electrophysiological investigation of the semantic analysis of words and pictures in sentences [J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1996, 8(2): 89–106.

[6] Hsiao, J. H., Shillcock, R., & Lavidor, M. A TMS examination of semantic radical combinability effects in Chinese character recognition [J]. *Brain Research*, 2006, 1078(1): 159–167.

[7] Hsiao, J. H., Shillcock, R., & Lavidor, M. An examination of semantic radical combinability effects with lateralized cues in Chinese character recognition [J]. *Perception and Psychophysics*, 2007, 69(3): 338–344.

[8] Hsu, C. H., Tsai, J. L., Lee, C. Y., & Tzeng, O. J. L. Orthographic combinability and phonological consistency effects in reading Chinese phonograms: An event-related potential study [J]. *Brain and Language*, 2009, 108(1): 56–66.

[9] Hung, Y. H., Hung, D. L., Tzeng, O. J. L., & Wu, D. H. Tracking the temporal dynamics of the processing of phonetic and semantic radicals in Chinese character recognition by MEG [J]. *Journal of Neurolinguistics*, 2014, 29: 42–65.

[10] Kounios, J., & Holcomb, P. J. Concreteness effects in semantic processing: ERP evidence supporting dual-coding theory [J]. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1994, 20(4): 804–823.

[11] Lee, C. Y., Tsai, J. L., Chan, W. H., Hsu, C. H., Hung, D. L., & Tzeng, O. J.. Temporal dynamics of the consistency effect in reading Chinese: An event-related potentials study [J]. *Neuroreport*, 2007, 18(2): 147–151.

[12] 李燕, 康加深. 现代汉语形声字声符研究. 见：陈原.现代汉语用字信息分析 [M] 上海: 上海教育出版社.1993:96.

[13] Liu, Y., Perfetti, C. A., & Hart, L. ERP evidence for the time course of graphic, phonological and semantic information in Chinese meaning and pronunciation decision [J]. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*,2003, 29(6): 1231–1247.

[14] Taler, V., & Phillips, N. A.. Event-related brain potential evidence for early effects of neighborhood density in word recognition[J]. *Neuroreport*, 2007, 18(18): 1957–1961.

[15] Voss, J. L., Federmeier, K. D. FN400 potentials are functionally identical to N400 potentials and reflect semantic processing during recognition testing [J]. *Psychophysiology*, 2010, 48(4): 532–546.

[16]王娟, 张积家.义符的类别一致性和家族大小影响形声字的语义加工[J]. *心理学报*, 2016, 48(11): 1390–1400.

[17] 王协顺, 吴岩, 赵思敏, 倪超, 张明.形旁和声旁在形声字识别中的作用[J]. *心理学报*, 2016, 48(2): 130–140.

[18] Williams, C. Emerging development of semantic and phonological routes to character decoding in Chinese as a foreign language learners [J]. *Reading and Writing*, 2012, 26(2): 293–315.

[19] Williams, C., & Bever, T. Chinese character decoding: A semantic bias? [J] *Reading and Writing*, 2010, 23(5): 589–605.

[20] Zhang, Q., Zhang, J. X., & Kong, L. Y. An ERP study on the time course of phonological and semantic activation in Chinese word recognition[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2009, 73(3): 235–245.

[21] 张积家, 王娟, 印丛.义符和声符在形声字语音、语义提取中的作用—来自部件知觉眼动研究的证据 [J]. *心理学报*, 2014, 46(7): 885−900.
[22] 张积家, 章玉祉.义符启动范式下义符的语义和语法激活的时间进程 [J]. *心理学报*, 2016, 48(9): 1070−1081.
[23]章玉祉, 张积家.义符启动范式下家族大小和类别一致性对义符语义激活的影响 [J]. *心理学报*, 2017, 49(8): 1041−1052.
[24] Zhou, X. L., & Marslen–Wilson, W. The nature of sublexical processing in reading Chinese characters [J]. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1999, 25(4): 819−837.

(通讯作者: 张积家 E-mail:zhangjj1955@163.com)

作者贡献声明:

王娟：提出研究思路，设计研究方案；
马雪梅：进行实验；
李兵兵：采集、清洗和分析数据；
王娟，马雪梅：论文起草；
张积家：论文最终版本修订。

The Neighborhood Effect of Semantic and Phonetic Radicals in Phonogram Recognition

WANG Juan[1]; MA Xuemei[1]; LI Bingbing[1]; ZHANG Jijia[2]
([1] *School of Education Science, Jiangsu Normal University, Xuzhou* 221116, *China*)
([2]*Department of Psychology, Renmin University of China, The State Ethnic Affairs Commission Key Research Center for National Language Cultural Psychology, Ethnic Education Development Research Center of Ministry of Education, Beijing* 100872, *China*)

Abstract

Phonograms are comprised of a semantic radical and a phonetic radical. The semantic radical usually implies the meaning of a character, while the phonetic radical offers a phonetic clue for the pronunciation of a character. Prior research has indicated that semantic and phonetic radicals each play an important role in phonogram cognition. However, the way in which the 2 kinds of radicals combine to influence both phonogram recognition and the activation process remains a controversial topic. Neighborhood size is one of the most important characteristics of radicals. The differences induced by the neighborhood size of radicals are called neighborhood effects. Prior studies employed various methods to investigate the roles of semantic and phonetic radicals on phonogram recognition and discovered that phonetic radicals have an advantage in phonogram processing. They also found that the neighborhood size of semantic radicals regulated the relative contributions of semantic and phonetic radicals. However, most of these researchers investigated the roles of semantic and phonetic radicals respectively. Only a few investigators have focused on the comprehensive role of semantic and phonetic radicals in character processing. This study attempted to investigate the comprehensive effect of semantic

and phonetic radicals on phonogram recognition.

Participants' brain responses were recorded using event-related brain potentials. Four types of characters were selected: HH (phonogram comprised of a high-frequency semantic radical and a high-frequency phonetic radical), HL (phonogram comprised of a high-frequency semantic radical and a low-frequency phonetic radical), LL (phonogram comprised of a low-frequency semantic radical and a low-frequency phonetic radical), and LH (phonogram comprised of a low-frequency semantic radical and a high-frequency phonetic radical). A lexical decision task was adopted; the frequency of the entire character and the number of strokes were equivalent for all groups.

The results showed that, for characters with high-frequency semantic radicals (HH and HL), the characters with high-frequency phonetic radicals (HH) elicited a larger P200 waveform component than the characters with low-frequency phonetic radicals (HL). However, for characters with low-frequency semantic radicals (LH and LL), there was no significant difference between the characters with high-frequency phonetic radicals (LH) and those with low-frequency phonetic radicals (LL). Characters with high-frequency phonetic radicals (HH and LH) elicited a larger N400 component than those with low-frequency phonetic radicals (HL and LL), and the N400 differences induced by the neighborhood size of phonetic radicals with high-frequency semantic radicals (HH and HL) were larger than those induced by characters with low-frequency semantic radicals (LH and LL). These results indicate that in the early stage of phonogram recognition, the neighborhood effect of phonetic radicals is regulated by the neighborhood size of semantic radicals. In the late stage of phonogram recognition, the higher the frequency of phonetic radicals, the stronger the semantic activation degree of the character. In general, the neighborhood size of phonetic radicals was found to affect vocabulary accessibility. However, the effect of the neighborhood size of phonetic radicals is regulated by the neighborhood size of semantic radicals.

Key words semantic radical; phonetic radical; meighborhood size; pictographic recognition